This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Library
of the
University of Wisconsin

Die Kegelprobe.

Ein neues Verfahren zur Härtebestimmung von Materialien.

Von

Ing. Dr. **Paul Ludwik,**

Honorar- und Privat-Dozent an der Technischen Hochschule in Wien.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1908.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

126233
FEB 4 1909

SDH
L96

611985

Die Kegelprobe ist aus der Brinellschen Kugeldruckprobe hervorgegangen in dem Bestreben, diese Methode noch zu vereinfachen und gleichzeitig die „Härtezahl" unabhängig von der Höhe der Belastung bezw. der Größe des Eindruckes zu machen.

Die Brinellsche Kugeldruckprobe,[1]) welche trotz der relativ kurzen Zeit ihres Bestehens (seit 1900) bei der Härtebestimmung von Eisen und Stahl bereits alle anderen Härtebestimmungsverfahren verdrängt hat, besteht bekanntlich darin, daß eine gehärtete Stahlkugel mittels Druckes in das zu prüfende Material eingetrieben und der Durchmesser des Eindruckes (zumeist mittels eines Spezialmikroskopes) bestimmt wird. Aus dem Durchmesser wird sodann die Oberfläche der gebildeten Kalotte (in mm^2 ausgedrückt) berechnet und in den angewendeten Druck (in kg) dividiert. Den so erhaltenen Quotienten nennt Brinell „Härtezahl"; „dieselbe gibt an, wie viele Kilogramm von dem auf die Kugel wirkenden Druck jeder Quadratmillimeter des geprüften Materiales zu tragen vermag."

Nach Untersuchungen von Ast,[2]) Benedicks,[3]) Breuil,[4])

---

[1]) Ausführliche Literaturangaben über diese Probe wurden in der „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines" 1907, Nr. 12, S. 205 gegeben.

[2]) „Feststellung von Untersuchungsmethoden über die Homogenität von Eisen und Stahl behufs eventueller Benützung bei Abnahmen." Brüsseler internationaler Materialprüfungskongreß 1906, Bericht zu Aufgabe 2, Seite 18.

[3]) „Recherches physiques et physico-chimiques sur l'acier au carbone." Upsala 1904.

[4]) „Essais de divers métaux par la méthode de Brinell." Congrès de Bruxelles 1906, Rapport non officiel.

Brinell,[1]) Le Chatelier,[2]) Dillner,[3]) Leon,[4]) Malmström,[5]) Rejtö[6]) u. a. erwies sich diese Härtezahl beeinflußt von der Größe des Kugeldurchmessers und der Belastung, indem bei gleicher Belastung kleinere Kugeln und bei gleichen Kugeln höhere Belastungen größere „Härtezahlen" lieferten.

Brinell[7]) erklärt dies dadurch, daß in beiden Fällen „das Vorschieben, bzw. Zusammendrücken, mit anderen Worten, die Kaltbearbeitung des unter der Kugel liegenden Materiales größer wird."[8])

Benedicks[9]) fand, daß man für ein bestimmtes Metall einen konstanten Härtewert erhält, wenn man die Brinellsche „Härtezahl" mit der fünften Wurzel aus dem Krümmungshalbmesser der Kugel multipliziert. Durch Vergleich der Schaulinien der „Härtezahlen" für weiches Eisen und Blei zeigte er, daß diese Linien affin sind, woraus er den Schluß zog, daß

---

[1]) „Festigkeitsversuche und sonstige Untersuchungen verschiedener Metalle und anderer Materialien", auf Kosten der Fagersta-Brucks-Aktiebolag für die Pariser Weltausstellung 1900, ausgeführt von J. A. Brinell, herausgegeben von Axel Wahlberg. Stockholm 1900, K. L. Beckmann.

[2]) Revue de Métallurgie 1906, Nr. 2.

[3]) „Die Brinellsche Härteprobe und ihre praktische Verwendung", Brüsseler internationaler Materialprüfungskongreß 1906, Bericht zu Aufgabe 27.

[4]) „Stahl und Eisen" 1907, Nr. 50, S. 1820.

[5]) „Dinglers polytechn. Journal" 1907, Heft 3, S. 34.

[6]) „Magyar Mérnök-és Épitész-Egylet Közlönye" 1907, évfolyamának III—IV. Siehe auch: „Baumaterialienkunde" 1907, Nr. 17/20.

[7]) „Baumaterialienkunde" 1900, Nr. 20/21, S. 317.

[8]) „Für eine wissenschaftliche Untersuchung der Härte des Körpers", schreibt Brinell, „müßte die Kugelprobe so ausgeführt werden, daß das Eindrücken der Kugel sowohl in harte wie in weiche Körper möglichst gering und stets gleich wird; dadurch wäre der Fehler zu vermeiden, der dadurch entstehen kann, daß die Kugel in dem einen Fall das Material mehr niederdrückt, d. h. kalt bearbeitet, als in dem anderen Falle." („Baumaterialienkunde" 1900, Nr. 26, S. 413.)

[9]) „Verhandlungsprotokoll des IV. Kongresses des internationalen Verbandes für die Materialprüfung der Technik", 1906, S. 98.

innerhalb gewisser Grenzen die bei verschiedenen Belastungen erhaltenen Härtezahlen ineinander umrechenbar sind, und auch eine Formel für diese Berechnung ableitete.

Breuil[1]) trägt die Kugelbelastungen als Ordinaten, die Eindruckflächen als Abszissen auf und vermutet eine Verwandtschaft (bezüglich Quetschgrenze, Wendepunkt usw.) der so erhaltenen Kurve mit dem normalen Druckdiagramme, während Malmström[2]) (bei Gußeisen) einen hyperbolischen Verlauf dieser Kurve feststellt. usw. usw.

Die Ansichten über die Ursache der erwähnten Beeinflussung sind demnach noch recht geteilte, obzwar doch eigentlich schon aus dem Kickschen[3]) „Gesetze der proportionalen Widerstände" unmittelbar zu folgern ist, daß die Abhängigkeit der „Härtezahl" von der Größe der Kugel und der Belastung lediglich in der geometrischen Unähnlichkeit der erzeugten Eindrücke ihren Grund hat.

Daher sind die mit verschieden großen Kugeln erhaltenen „Härtezahlen" auch nach diesem Gesetze vergleichbar und von der Belastung stets unabhängige Härtewerte nur dann zu erreichen, wenn für beliebige Belastungen die Eindrücke einander geometrisch ähnlich sind, bzw. wenn man die Kugel durch einen Kegel ersetzt.

Auf dieser einfachen Überlegung basiert die kürzlich angeregte „Kegeldruckprobe".[4])

---

[1]) Siehe Anmerkung 4 S. 3.

[2]) Siehe Anmerkung 5 S. 4.

[3]) Fr. Kick „Das Gesetz der proportionalen Widerstände und seine Anwendungen." Leipzig 1885, Felix.

[4]) „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines" 1907, Nr. 11 und 12; „Baumaterialienkunde" 1907, Nr. 8—10; „Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt" 1907, Nr. 45. — Siehe auch: O. Meyer „Über die Ludwiksche Kegeldruckprobe, ein neues Eindruckverfahren zur Härtebestimmung von Materialien", „Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen" 1907, Nr. 21, S. 257. — A. Gessner, Härtebestimmung mittels der Ludwikschen Kegelprobe unter Stoßwirkung", „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines" 1907, Nr. 46, S. 799. — A. Leon: „Über die Beziehung zwischen Kegeldruckhärte und Streckgrenze bei Eisen und Stahl", „Stahl und Eisen" 1907, Nr. 50, S. 1820.

Als „Kegeldruckhärte“[1]) $\left(\frac{P^{kg}}{f^{mm^2}}\right)$ eines Materiales wurde jener Druck (P) in kg pro mm² bleibende Eindruckfläche (f) definiert, welcher erforderlich ist, um einen rechtwinkligen Kreiskegel ($\sphericalangle \alpha = 90^0$) normal in dasselbe (beliebig tief) einzudrücken.[2])

Die Bestimmung der Eindruckfläche erfolgt aus der schon während des Versuches gemessenen Eindrucktiefe, wodurch die bei der Brinellschen Methode nötige nachträgliche Messung des Eindruckdurchmessers (mittels eines Spezialmikroskopes) hier entfällt, daher die ganze Versuchsausführung noch vereinfacht wird.

Im folgenden soll über bisher bezüglich der praktischen Verwendbarkeit dieses neuen Härtebestimmungsverfahrens durchgeführte Versuche[3]) kurz berichtet werden.[4])

---

[1]) Dieser Quotient wurde nicht mit „Härtezahl“, sondern mit „Kegeldruckhärte“ bezeichnet, um hiemit gleichzeitig die Art der Eindringung zu charakterisieren und so auch nur den Anschein einer „absoluten Härtebestimmung“ zu vermeiden.

[2]) Entsprechende Härte des Eindruckkegels, ebene Oberfläche wie genügende Abmessungen des zu prüfenden Materiales und erreichter Gleichgewichtszustand vorausgesetzt.

[3]) Für die Versuche stellte Herr Prof. Bernard Kirsch in entgegenkommendster Weise das mechanisch-technische Laboratorium der Technischen Hochschule in Wien zur Verfügung.

[4]) Es sei hier auch auf die Verwandtschaft der Kegeldruckprobe mit den Ritzmethoden, insbesondere mit der Martensschen Ritzmethode hingewiesen, indem bei gleichem Druckkreisdurchmesser bezw. gleicher Strichbreite, bei beiden Proben die Härtezahlen proportional der Belastung. Bei gleicher Belastung wären allerdings nicht die reziproken ersten, sondern die reziproken zweiten Potenzen der Strichbreiten dieser Härtefolge gleichwertig. Von der Belastung unabhängige Härtezahlen wären (natürlich nur bei exaktem Diamantschliff) auch bei der Ritzmethode zu erhalten, wenn man als Härtezahl den Quotienten: Belastung durch das Quadrat der Strichbreite (bezw. Strichtiefe) ansprechen würde.

Bei Messung der Strichtiefe statt der Strichbreite dürften übrigens Ritz- und Kegeldruckprobe (bei gleichem Kegelwinkel) nicht nur gleiche Härtefolgen, sondern, wenigstens annähernd, auch gleiche Härtezahlen ergeben, indem bei gleichen Belastungen und

1. Die Versuchsanordnung.

Die Kegeldruckprobe kann auf beinahe jedem Belastungsapparate mit Kraftmesser durchgeführt werden. Die Höhe der praktisch am vorteilhaftesten anzuwendenden Belastungen richtet sich natürlich vor allem nach der Härte und ev. auch nach der Größe des zu untersuchenden Stückes.

Im allgemeinen sind kleine Eindrucktiefen für die Härtebestimmung weniger geeignet und am besten ganz auszuschließen, da hier selbst geringfügige Ablesungsfehler und Fehler in der Nullpunkteinstellung (diesbez. siehe weiter unten) schon recht einflußreich werden können.[1])

Die Größe der Probestücke ist mindestens so zu bemessen, daß das Material unter der örtlichen Belastung nicht seitwärts oder unten ausweichen kann, sondern rund um den Kegel heraufgedrückt wird.[2])

Spezialapparate für die Kegeldruckprobe, welche ohne weiteres auch in die Brinellschen Kugeldruckapparate einzustellen sind, werden von der Firma J. Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen (Schweiz) hergestellt. Umstehende Abbildung zeigt einen solchen Kegeldruckapparat im Bilde. Der glashart gehärtete oben eben,[3]) unten rechtwinklig konisch zugeschliffene zylindrische Stahlstempel (Körner) wird in einem Rotgußgehäuse drehbar vertikal geführt und durch eine seitliche Feder an-

---

minimalen Ritzgeschwindigkeiten — wie rohe Vorversuche vermuten lassen — in beiden Fällen die Spitze gleich tief in das Material eindringt. Diese Übereinstimmung wäre vermutlich eine vollständige, wenn der vor und seitlich der Spitze abfließende Span ohne Einfluß auf die Eindringungstiefe.

Durch Strichbreitenmessung bezw. Messung des Druckkreisdurchmessers ließen sich obige Beziehungen nicht kontrollieren, da die diese Größen oft beeinflussende Randwulstbildung in beiden Fällen eine prinzipiell verschiedene ist.

[1]) Für Eisen und Stahl geben Belastungen von etwa 1000 kg bis 5000 kg gut brauchbare Werte. Vergl. Tabelle S. 11.

[2]) Für Belastungen bis ca. 5000 kg genügten Breiten von ca. 5 cm selbst bei den weichsten Eisensorten.

[3]) Ein Körnergrübchen dient bei event. Einsetzen des Apparates in einem Brinellschen Kugeldruckapparat der Kugel zur Auflage.

nähernd entlastet. Die Verschiebung des Körners (gegen das Gehäuse) wird durch eine ihn federnd umschließende Gewindebüchse und ein eingreifendes Zahnrädchen auf einen Zeiger

Kegeldruckapparat.

übertragen, wodurch Tiefen bis zu 5 mm noch auf ca. $^1/_{100}$ mm bequem abzuschätzen sind.

Der Körner ist behufs ev. Nachschleifens des Kegels leicht auswechselbar. Zwei Reservekörner werden dem Apparate beigegeben.

Die genaue Einstellung des Zeigers erfolgt (bei nicht vollkommen ebener Oberfläche des Probestückes) durch Drehung des Körners an dem ränderierten Bunde der Gewindebüchse. Falls nötig, kann auch (zur groben Einstellung bei sehr unebener Oberfläche, bei ev. Auswechslung des Körners usw.) das Zeigerwerk durch einen seitlichen Zugstift ganz ausgelöst werden.

Die Höhe des ganzen Apparates (= Platzbedarf zwischen oberer Druckplatte und Oberfläche des Probestückes) beträgt ca. 10 cm, dessen Gewicht ca. 0·6 kg.

Bei Vornahme der Kegeldruckprobe wird der Apparat annähernd vertikal[1]) auf die ebene Fläche des Probekörpers gestellt und hierauf der Zeiger durch Drehung des leicht aufsitzenden Körners in die Anfangsstellung gebracht. Hiebei ist zu beachten, daß der Zeiger entsprechend der nie theoretisch genauen Kegelspitze stets etwas über den Teilungsnullpunkt einzustellen ist, welche Differenz (x) für einen bestimmten Körner (ein für allemal) erst durch einen Vorversuch zu ermitteln ist.[2]) Nun wird der Körner mit P kg belastet und nach erfolgter Entlastung die erreichte Eindrucktiefe t mm am Apparate abgelesen. Die zugehörige Kegeldruckhärte:

$$H = \frac{P^{kg}}{f^{mm^2}} = 0{\cdot}225\,\frac{P^{kg}}{t^{2\,mm^2}}$$

---

[1]) Versuche ergaben, daß geringe Schiefstellung ohne Einfluß.

[2]) Sind, bei genauer Nullpunkteinstellung, t_1 und t_2 zwei Tiefenablesungen (abzulesen ist stets im entlasteten Zustand!) und P_1 bezw. P_2 die zugehörigen Belastungen, so ermittelt sich obige Differenz x bei homogenem Versuchmaterial aus der Belastungsparabel $\left(\frac{P}{t^2} = \text{konstant}\right)$ mit: $x = \frac{t_1\sqrt{\frac{P_2}{P_1}} - t_2}{1 - \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}}$, sonach am einfachsten, wenn $P_2 = 4\,P_1$, mit: $x = t_2 - 2\,t_1$.

Bei den Amslerschen Apparaten dürfte diese Differenz rund ca. $^1/_{20}$ mm betragen.

Bei genauer Nullpunkteinstellung würden anfangs stark abnehmende Härtezahlen erhalten werden, die erst später bei genügender Eindrucktiefe allmählich einen annähernd konstanten Wert (den richtigen Wert der „Kegeldruckhärte") erreichen.

ist (für Belastungen von 1^t, 2^t, 3^t, 4^t und 5^t, bzw. 500^{kg}) aus den beigegebenen Tabellen (S. 18) dann direkt zu entnehmen.

Um Mittelwerte zu erhalten, können noch weitere Ablesungen mit stufenweise gesteigerter Belastung (vgl. beisteh. Tabelle) gemacht werden.[1]) Hiebei lassen stark variable Kegeldruckhärten — richtige Nullpunkteinstellung und genügende Abmessungen des Probestückes natürlich vorausgesetzt — auf Materialunhomogenität schließen. So kann z. B. der Einfluß poröser, blasiger Stellen oder diverser lokaler Saigerungserscheinungen, ungleiche Erhitzung, Abkühlung (Gußhaut!) oder Kaltbearbeitung[2]) usw. oft erhebliche Härteschwankungen verursachen und bei manchen Materialien sind auch die Nachwirkungserscheinungen[3]) hier zu berücksichtigen.

2. Einfluß der Spitzenabrundung und Kegelneigung.

Die nächstliegende Einwendung gegen eine Härtebestimmung mittels der Kegeldruckprobe dürften wohl Bedenken gegen die Haltbarkeit des Eindruckkörpers sein.

Wenn auch selbstverständlich diesbezüglich die Brinellsche Kugelfläche der Kegelspitze überlegen ist, so ergaben doch die Versuche, daß die Widerstandsfähigkeit eines, selbst nur aus gewöhnlichem mittelharten Kohlenstoffstahl hergestellten glas-

---

[1]) Vor der Ablesung ist stets zu entlasten. Ein bemerkenswerter Einfluß „sofortig wiederholter Belastungen" gegenüber nur einmaliger Belastung, ließ sich bei Kupfer, Gußeisen, Flußeisen und Stahl nicht konstatieren.

Siehe auch: P. Ludwik, „Zugversuche mit Flußeisen", Technische Blätter 1904, 36. Jahrg., S. 1.

[2]) Jede bleibende Formänderung, gleichviel ob durch Zug- oder Druckbeanspruchung hervorgerufen, erhöht die Härte eines Metalles. So betrug z. B. die durch einen Zerreißversuch bewirkte Härtezunahme: bei Flußeisen bis 80%, bei Kupfer sogar bis über 100%!

[3]) Die Größe der Nachwirkungserscheinung ist bekanntlich bei verschiedenen Materialien oft recht verschieden. Während z. B. bei allen Eisenarten, bei Kupfer etc. ein annähernder Gleichgewichtszustand sehr rasch erreicht wird, findet z. B. bei Zink, Blei und insbesondere Zinn dies erst allmählich statt. So ließen sich bei Zinn durch verschiedene Belastungsdauer Kegeldruckhärte-Differenzen bis zu ca. 50% hervorrufen!

Tabelle der Eindrucktiefen t und Kegeldruckhärten H bei verschiedenen Belastungen.

Belastung in kg	Kupfer[1])		Gußeisen[2])		Flußeisen[3]) von 0·08% C.		Flußeisen[3]) von 0·20% C.		Flußstahl[3]) von 0·52% C.		Flußstahl[3]) von 0·77% C.		Flußstahl[3]) von 1·13% C.	
	$t$mm	H	$t$mm	H	$t$mm	H	$t$mm	H	$t$mm	H	$t$mm	H	$t$mm	H
500	1·23	74·4	0·75	200	0·93	130	0·89	142	0·76	195	0·63	284	0·58	334
1000	1·74	74·3	1·07	197	1·32	129	1·27	140	1·07	197	0·88	290	0·83	326
2000	2·46	74·3	1·50	200	1·85	132	1·78	142	1·52	195	1·25	288	1·17	329
3000	3·00	75·0	1·82	204	2·27	131	2·19	141	1·87	193	1·53	288	1·43	330
4000	3·44	76·0	2·13	198	2·63	130	2·55	138	2·15	195	1·77	287	1·65	331
5000	3·88	74·7	2·37	200	2·95	129	2·87	136	2·40	195	1·97	290	1·85	329
Mittelwert	**75**		**200**		**130**		**140**		**195**		**290**		**330**	

[1]) Verschiedene Sorten zeigen oft bedeutende Härteunterschiede; manche erwiesen sich sogar 40% weicher.

[2]) Von 1650 kg/cm² Zugfestigkeit, 5400 kg/cm² Druckfestigkeit, 2800 kg/cm² Biegefestigkeit und 0·68% Bruchdehnung.

[3]) Siehe auch Tabelle S. 14/15.

hart gehärteten Kegels, für die Härteprüfung auch härterer (ungehärteter) Stähle (vgl. z. B. Tabelle S. 14/15, Stahl Nr. 10—12) schon völlig ausreichend. Ritzt der Körner das zu untersuchende Material, dringt also die Spitze auch nur ein wenig ein, so läßt er sich auch beliebig tief eindrücken, da zufolge der geometrischen Ähnlichkeit des ganzen Vorganges die spezifischen Beanspruchungen hiebei konstant bleiben. Nach hunderten von Kegeldruckproben an diversen Eisen- und Stahlsorten konnte eine erhebliche Spitzenverletzung nicht wahrgenommen werden.

Inwieweit sich diese aus Laboratoriumsversuchen abgeleiteten günstigen Erfahrungen auf den oft weit höhere Anforderungen stellenden praktischen Betrieb übertragen lassen, muß derzeit allerdings noch dahingestellt bleiben und dürfte wohl auch nur fallweise zu entscheiden sein.

Übrigens ließen sich hier durch Verwendung mehrerer gruppenweise nachzuschleifender Körner die Schleifkosten pro Kegel sehr reduzieren. Auch zeigten Versuche mit absichtlich verdrückten Kegelspitzen, daß selbst eine erhebliche Spitzenabplattung bei entsprechender Nullpunkteinstellung ohne merklichen Einfluß auf die Kegeldruckhärte war.

Um eine ev. eingetretene Spitzenabstumpfung leicht wahrnehmen bzw. bei der Nullpunkteinstellung berücksichtigen zu können, wurde an der Gewindebüchse ein federnd drehbarer, mit einem Index versehener Ring angebracht (siehe Abbildung S. 8). Steht der Apparat auf einer genau ebenen Fläche (Glasplatte) auf, so ist bei Nullstellung des Zeigers der Ringindex so lange gegen die Gewindebüchse zu verdrehen, bis er mit seinem fixen Gegenindex übereinstimmt. Später ev. abweichende Lagen des Zeigers von der Nullstellung bei eingestelltem Ringindex lassen ev. eingetretene Spitzenabnützungen sofort erkennen, um welche Differenz der Zeiger dann einfach höher einzustellen ist. Obiger Kontrollring samt Gegenindex wird von der Firma nur auf besonderes Verlangen dem Kegeldruckapparate beigegeben.

Erwähnt sei hier auch noch, daß man bei der Härteuntersuchung annähernd homogener Materialien die Kegeldruckhärte auch ganz unabhängig von der Nullpunkteinstellung bzw. Spitzenabrundung direkt aus der Differenz zweier Tiefenab-

lesungen $t_2 - t_1$ bei einer Belastungszunahme von 3 P_1 (also $P_2 = 4\,P_1$) nach:

$$H = 0{\cdot}225\,\frac{P_1}{(t_2 - t_1)^2}$$

ermitteln kann, welcher Wert (für $P_1 = 1^t$, 2^t, 3^t, 4^t und 5^t, bezw. 500 kg) aus den beigegebenen Tabellen (S. 18) direkt zu entnehmen, wenn $t_2 - t_1$ statt t gesetzt wird.

Um den Einfluß des Kegelwinkels (α) auf die Härtezahl bzw. auf den spezifischen Druckwiderstand ($^P/_f$) zu ermitteln, wurden Versuche mit Kegeln von: $\sphericalangle\,\alpha = 60^0$, $\sphericalangle\,\alpha = 90^0$ und $\sphericalangle\,\alpha = 120^0$ an verschiedenen Eisen- und Stahlsorten durchgeführt und deren Ergebnisse in der Tabelle auf S. 14/15 eingetragen.

Die spezifischen Druckwiderstände wachsen durchwegs mit zunehmendem $\sphericalangle\,\alpha$,[1]) während deren gegenseitiges Verhältnis in allen drei Fällen (bei $\sphericalangle\,\alpha = 60^0$, 90^0 und 120^0) nahezu konstant blieb.

Die Kegelneigung scheint demnach nur die Härteziffer, nicht aber die Härtefolge (Relativwerte der Härteziffern) wesentlich zu beeinflussen.

3. Beziehung der Kegeldruckhärte zur Streckgrenze bei Eisen und Stahl.[2])

Da die Kegeldruckprobe ein, wenn auch wesentlich modifizierter Druckversuch ist, so liegt es nahe, die Beziehung zwischen Quetschgrenze oder — da bei Eisen und Stahl diese bekanntlich etwa gleich der Streckgrenze[3]) — auch zwischen dieser und der Kegeldruckhärte zu untersuchen.

---

[1]) Die Größe des spezifischen Druckwiderstandes ist demnach erheblich von der Form der Eindruckfläche beeinflußt, wodurch sich auch die erwähnte Abhängigkeit der Brinellschen „Härtezahl" von der Eindruckgröße erklärt.

[2]) Siehe auch: A. Leon „Über die Beziehung der Kegeldruckhärte zur Streckgrenze bei Eisen und Stahl," „Stahl und Eisen" 1907, Nr. 50, S. 1820.

[3]) Siehe O. Meyer „Über den Zusammenhang von Zug- und Druck-Diagrammen bei Stahl, Eisen und Kupfer". „Baumaterialienkunde" 1905, H. 18.

Bezeichnung	Kohlenstoffgehalt in %	Streckgrenze σ_s in kg/cm²				Zugfestigkeit in kg/cm²		Bruchdehnung in %		Kontraktion in %		Brinellsch Härtezahlen f Belastungen v		
		obere	untere	wirkliche	Mittel							500 kg	1000 kg	3000 kg
1	0·08	2630	2460	2490	2477	4220	4200	31·6	32	62·3	62·5	100	111	121
2		2630	2465	2465		4180		32·4		62·8				
3	0·20	3060	2650	2710	2653	4295	4288	30·5	29	52·0	51·6	105	114	12
4		2940	2550	2650		4260		27·5		52·4				
5		3000	2610	2550 2650		4310		29·0		48·8				
6	0·52	3770	3520	3580	3620	6620	6595	22·0	21	41·3	41·9	150	159	179
7		3520	3490	3660		6570		20·0		42·5				
8	0·77	—	—	4670	4625	(8360)	(8890)	(2·5)	(4·3)	(3·3)	(6·0)	—	219	25
9		—	—	4580		(9420)		(6·1)		(8·8)				
10	1·13	5960	5840	5890	5970	8680	8867	2·2	2·1	1·5	1·6	—	227	27
11		6240	—	6040		8860		2·2		1·6				
12		?	?	5980		(9060)		(1·9)		(1·6)				

Die Ergebnisse von vergleichenden Zug- und Kegeldruckproben an zwei Sorten von Thomasflußeisen[1]) und drei Sorten von basischem Martinflußstahl[2]) sind in beistehender Tabelle übersichtlich zusammengestellt, wobei der Vollständigkeit wegen auch noch die bei verschiedenen Belastungen erhaltenen Brinellschen Härtezahlen eingesetzt wurden.

Hiezu ist noch zu bemerken, daß mit Ausnahme der Proben Nr. 8 und 9 alle Zugdiagramme deutlich ausgeprägte „Inflexion" (unstetigen Diagrammverlauf an der Streckgrenze) aufwiesen.[3])

„Soweit dies obige wenige Versuche beurteilen lassen, scheint eine annähernde Proportionalität zwischen der Kegeldruckhärte und der Streckgrenze zu bestehen bei den Eisen- und Stahlsorten, die eine ausgesprochene „Inflexion" zeigen.

---

[1]) Mit 0·08% und 0·20% Kohlenstoffgehalt.

[2]) Mit 0·52%, 0·77% und 1·13% Kohlenstoffgehalt.

[3]) Siehe „Stahl und Eisen" 1907, Nr. 50, S. 1821/22, Abb. 1—6.

spezif. Druckwiderstand P/f bei $\alpha=60^0$	spezif. Druckwiderstand P/f bei $\alpha=120^0$	Kegeldruckhärte H ($\alpha=90^0$)	Kegelstoßhärte H_s ($\alpha=90^0$)	$\frac{\sigma_s}{H}$	$\frac{H}{H_s}$	Anmerkung
115	150	130	220	19	0·59	
125	160	140	235	19	0·595	Lunker.
170	220	195	325	18·5	0·60	
250	335	290	460	16	0·63	Am Kopf gerissen.
						dto.
290	375	330	520	18	0 635	An einer Marke gerissen.
						dto.
						Am Kopf gerissen.

Bei dem Material, welches in der Spannungsdehnungslinie einen stetigen Verlauf zeigt, so daß die Streckgrenze wohl noch im Spiegel, nicht aber mehr am Manometer beobachtet werden kann,[1]) liegt die Härtezahl höher, entsprechend dem allmählicher beginnenden Fließvorgange."

Die Möglichkeit, die Streckgrenze eines Materiales, wenn selbst nur annähernd, aus der Kegeldruckprobe zu bestimmen, dürfte insbesondere vorteilhaft, z. B.: bei Prüfung von Stücken, aus denen Zugproben nicht herstellbar (kleine Stücke, fertige Fabrikate u. dgl.), für fortlaufende Kontrollversuche bei der Eisen- und Stahlfabrikation, zur raschen und billigen Bestimmung der Homogenität oder Qualität einer Lieferung usw.

Auch bei Massenübernahmen von Eisen und Stahl könnte hiedurch die Anzahl der zeitraubenden und teueren Zugproben wesentlich vermindert werden, wenn auch damit natürlich keines-

[1]) Siehe „Stahl und Eisen", S. 1822 Abb. 5.

wegs beabsichtigt, dieselben durch Kegeldruckproben ganz zu ersetzen.[1])

4. Kegelstoßproben.[2])

Um zu ermitteln, inwieweit die ruhige Druckwirkung durch Stoßwirkung (Schlag) ersetzbar ist, wurden vergleichende Kegeldruck- und Kegelstoßproben an verschiedenen Materialien (Kupfer, Gußeisen, Flußeisen und Flußstahl) durchgeführt.

Bei ruhiger Druckwirkung ergibt sich die Kegeldruckhärte H wie erwähnt aus:

$$H = 0{\cdot}225 \frac{P^{kg}}{t^{2\,mm^2}}$$

und die zur Erzeugung eines t^{mm} tiefen Eindruckes nötige Arbeit A — zufolge des parabolischen Anwachsens der Belastungen mit der Tiefe aus:

$$A^{kgmm} = {}^1/_3 \, P^{kg} \, t^{mm},$$

aus welchen beiden Gleichungen:

$$H = 0{\cdot}675 \frac{A^{kgmm}}{t^{3\,mm^3}}.$$

Um einen gleich tiefen Eindruck durch Stoßwirkung zu erzeugen, ist wegen der unvermeidlichen Verluste durch Erschütterungen und Erwärmungen, wegen der elastischen Deformationen usw. naturgemäß eine Schlagarbeit:

$$A_s > A$$

erforderlich, daher auch die „Kegelstoßhärte“:

$$H_s = 0{\cdot}675 \frac{A_s^{kgmm}}{t^{3\,mm^3}} > H.$$

Die Versuche ergaben (vgl. beistehende Tabelle), daß das Verhältnis $\frac{H}{H_s} = k$ bei demselben Materiale innerhalb der be-

[1]) Übrigens wird — wie anderorts gelegentlich näher ausgeführt werden soll — die Bedeutung der Zugprobe insbesondere der „Zugfestigkeit“ und „Bruchdehnung“ für die Beurteilung der Materialqualität sehr überschätzt.

[2]) Siehe auch: A. Gessner „Härtebestimmung mittels der Ludwikschen Kegelprobe unter Stoßwirkung“, „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“ 1907, Nr. 46, S. 799.

obachteten Grenzen, von der Fallhöhe ziemlich unabhängig ist, bei verschiedenem Materiale jedoch im allgemeinen recht ungleich sein kann, wenn auch, wie insbesondere aus der Tabelle auf S. 14/15 ersichtlich, bei Eisen und Stahl der Wert von k nur wenig vom Kohlenstoffgehalt (bzw. von der Härte) beeinflußt zu sein scheint.[1])

Tabelle der Werte von $k = \frac{H}{H_s}$.

Fallhöhe in m	Kupfer	Gußeisen	Flußeisen	Stahl
0·5	0·72	0·71	0·575	0·585
1·0	0·715	0·74	0·56	0·595
2·0	0·72	0·745	0·56	0·58
Mittel:	0·72	0·73	0·57	0·59

Bei nur vergleichenden Härteproben (Homogenitätsuntersuchungen u. dgl.) ist natürlich die Kenntnis des Wertes k belanglos und könnte hier das Verhältnis $\frac{A_s}{t^3}$ direkt als Vergleichswert dienen.

Gegenüber der Kegeldruckprobe hat die Kegelstoßprobe vor allem den Nachteil des weitaus größeren Körnerverschleißes und der ungenaueren Messung[2]); anderseits kann unter Umständen (z. B. bei Härteuntersuchung großer Stücke usw.) die Möglichkeit der Verwendung leicht transportabler Schlagapparate von Vorteil sein.

---

[1]) Soweit dies die wenigen vorliegenden Versuche beurteilen lassen, dürfte der Quotient k mit wachsendem Kohlenstoffgehalte etwas zunehmen.

[2]) Insbesondere da H_s verkehrt proportional der dritten Potenz von t und auch von der Fallwerksanlage sowie von der Probestückgröße beeinflußt werden kann.

Zudem ist bei der Stoßprobe die Bestimmung mehrerer Härtewerte während einer Eindringung, sowie event. eingetretener Spitzenabnützung, nicht möglich, weswegen hier eine Messung des Druckkreisdurchmessers (wie bei der Brinellschen Methode) der Tiefenmessung vielleicht fallweise vorzuziehen ist.

Tabellen zur Bestimmung der Kegeldruckhärte aus der Eindrucktiefe.

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
1·00	**225**	**450**	**675**	**900**	**1125**
1·01	220	439	659	878	1098
1·02	216	433	649	866	1082
1·03	212	425	637	849	1061
1·04	209	417	626	834	1043
1·05	**204**	**408**	**612**	**816**	**1020**
1·06	200	401	601	802	1002
1·07	197	393	590	787	984
1·08	193	385	578	770	965
1·09	189	379	568	758	947
1·10	**186**	**372**	**558**	**744**	**930**
1·11	183	366	549	731	914
1·12	178	356	534	712	890
1·13	176	352	529	705	881
1·14	173	346	519	692	865
1·15	**170**	**340**	**511**	**680**	**851**
1·16	167	334	501	668	836
1·17	164	329	493	657	822
1·18	162	323	485	646	808
1·19	159	318	477	636	795
1·20	**156**	**312**	**469**	**625**	**781**
1·21	154	307	461	614	768
1·22	151	302	454	605	756
1·23	149	297	446	595	744
1·24	146	293	439	585	732
1·25	**144**	**288**	**432**	**576**	**720**
1·26	142	284	425	567	709
1·27	140	279	419	558	698
1·28	137	275	412	549	687
1·29	135	270	406	541	676
1·30	**133**	**266**	**399**	**532**	**665**
1·31	131	262	393	524	656
1·32	129	258	387	516	646
1·33	127	254	382	509	636
1·34	125	251	376	501	627
1·35	**124**	**247**	**371**	**494**	**618**
1·36	122	243	365	486	608
1·37	120	240	360	480	600
1·38	118	236	354	472	590
1·39	117	233	350	466	583
1·40	**115**	**230**	**344**	**459**	**574**
1·41	113	226	340	453	566
1·42	112	223	335	446	558
1·43	110	220	330	440	550
1·44	108	217	325	434	542
1·45	**107**	**214**	**321**	**428**	**535**
1·46	106	211	317	422	528
1·47	104	208	312	416	521
1·48	103	205	308	411	514
1·49	101	203	304	405	507

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
1·50	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**
1·51	98·7	197	296	395	493
1·52	97·4	195	292	390	487
1·53	95·9	192	288	383	481
1·54	94·9	190	285	380	475
1·55	**93·2**	**187**	**280**	**373**	**466**
1·56	92·5	185	277	370	462
1·57	91·3	183	274	365	456
1·58	90·2	180	271	361	451
1·59	89·0	178	267	356	444
1·60	**87·9**	**176**	**264**	**352**	**439**
1·61	86·8	174	260	347	434
1·62	85·7	171	257	343	429
1·63	84·7	169	254	339	424
1·64	83·6	167	251	335	418
1·65	**82·6**	**165**	**248**	**331**	**413**
1·66	81·7	163	245	327	408
1·67	80·7	161	242	323	404
1·68	79·7	159	239	319	398
1·69	78·8	158	236	315	394
1·70	**77·8**	**156**	**233**	**311**	**389**
1·71	76·9	154	231	308	385
1·72	76·0	152	228	304	380
1·73	75·2	150	226	301	376
1·74	74·3	149	223	297	372
1·75	**73·5**	**147**	**220**	**294**	**367**
1·76	72·7	145	218	291	363
1·77	71·8	144	215	287	359
1·78	71·0	142	213	284	355
1·79	70·2	140	211	281	351
1·80	**69·4**	**139**	**208**	**278**	**347**
1·81	68·7	137	206	275	343
1·82	67·9	136	204	272	340
1·83	67·2	134	202	269	336
1·84	66·4	133	199	266	332
1·85	**65·7**	**132**	**197**	**263**	**329**
1·86	65·0	130	195	260	325
1·87	64·4	129	193	257	322
1·88	63·7	127	191	255	318
1·89	63·0	126	189	252	315
1·90	**62·3**	**125**	**187**	**249**	**311**
1·91	61·7	123	185	247	308
1·92	61·0	122	183	244	305
1·93	60·4	121	181	242	302
1·94	59·8	119	179	239	299
1·95	**59·2**	**118**	**178**	**237**	**296**
1·96	58·6	117	176	234	293
1·97	58·0	116	174	232	290
1·98	57·4	115	172	229	287
1·99	56·8	114	170	227	284

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P \text{ kg}}{t^2 \text{ mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
2·00	**56·2**	**113**	**169**	**225**	**281**
2·01	55·7	112	167	223	278
2·02	55·1	110	165	220	276
2·03	54·6	109	164	218	273
2·04	54·1	108	162	216	270
2·05	**53·5**	**107**	**161**	**214**	**268**
2·06	53·0	106	159	212	265
2·07	52·5	105	158	210	263
2·08	52·0	104	156	208	260
2·09	51·5	103	155	206	258
2·10	**51·0**	**102**	**153**	**204**	**255**
2·11	50·5	101	152	202	253
2·12	50·1	100	150	200	250
2·13	49·6	99·2	149	198	248
2·14	49·1	98·2	147	196	245
2·15	**48·7**	**97·3**	**146**	**195**	**243**
2·16	48·2	96·4	145	193	241
2·17	47·8	95·6	143	191	239
2·18	47·4	94·7	142	189	237
2·19	46·9	93·8	141	188	235
2·20	**46·5**	**93·0**	**139**	**186**	**233**
2·21	46·1	92·2	138	184	231
2·22	45·6	91·3	137	183	228
2·23	45·3	90·7	136	181	226
2·24	44·8	89·7	135	179	224
2·25	**44·4**	**88·9**	**133**	**178**	**222**
2·26	44·0	88·1	132	176	220
2·27	43·7	87·3	131	175	218
2·28	43·3	86·6	130	173	216
2·29	42·9	85·8	129	172	214
2·30	**42·5**	**85·0**	**128**	**170**	**212**
2·31	42·2	84·3	127	169	211
2·32	41·8	83·6	125	167	209
2·33	41·5	82·9	124	166	207
2·34	41·0	82·0	123	164	205
2·35	**40·7**	**81·5**	**122**	**163**	**203**
2·36	40·3	80·6	121	161	201
2·37	40·0	80·0	120	160	200
2·38	39·7	79·4	119	159	198
2·39	39·4	78·8	118	158	197
2·40	**39·1**	**78·1**	**117**	**156**	**195**
2·41	38·8	77·5	116	155	194
2·42	38·4	76·8	115	154	192
2·43	38·1	76·2	114	152	190
2·44	37·8	75·5	113	151	189
2·45	**37·5**	**74·9**	**112**	**150**	**187**
2·46	37·2	74·3	111	149	186
2·47	36·9	73·8	111	148	184
2·48	36·6	73·2	110	146	183
2·49	36·3	72·6	109	145	181

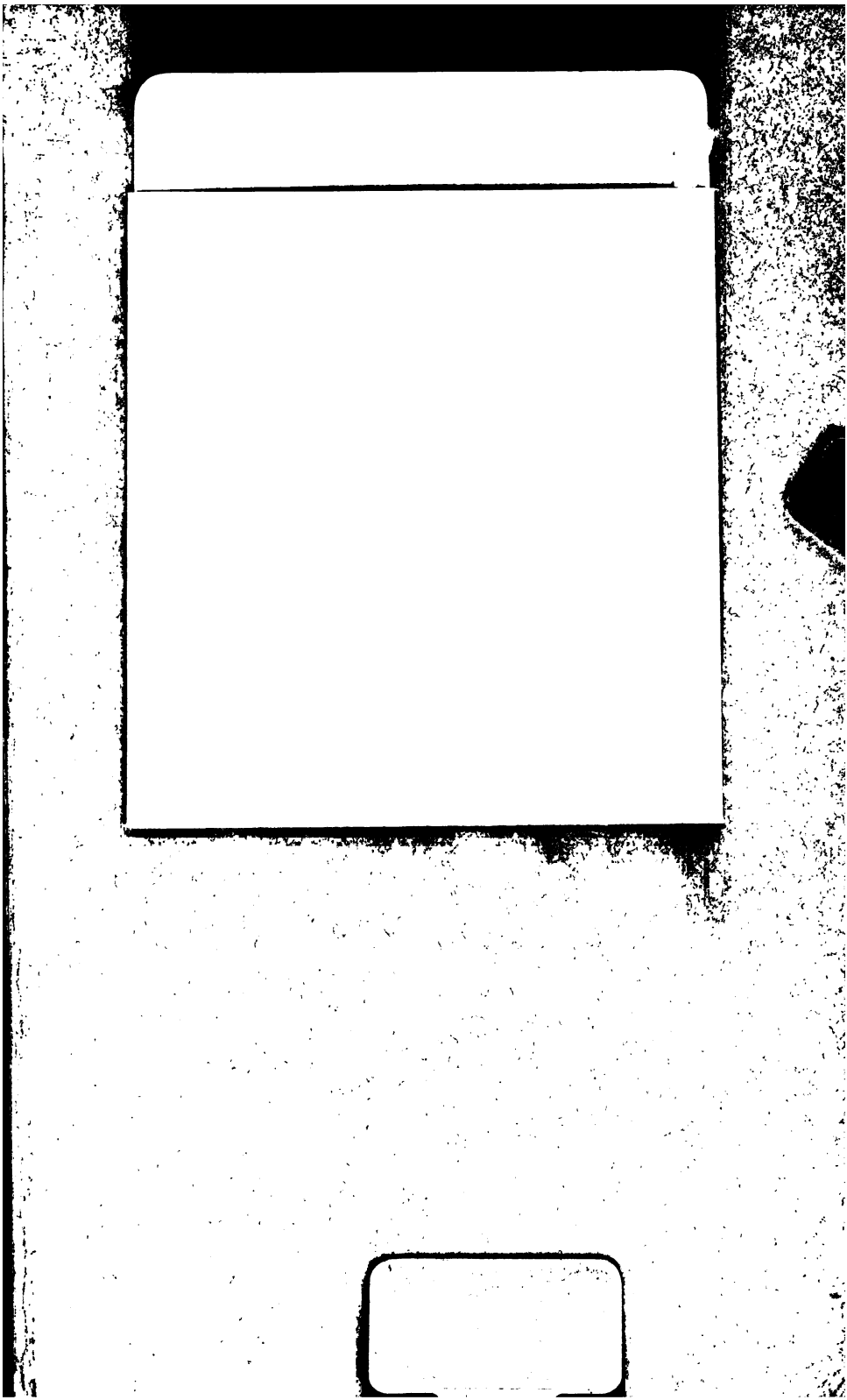
Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen P_{kg} von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
2·50	**36·0**	**72·0**	**108**	**144**	**180**
2·51	35·7	71·4	107	143	178
2·52	35·4	70·9	106	142	177
2·53	35·2	70·3	106	141	176
2·54	34·9	69·7	105	139	174
2·55	**34·6**	**69·2**	**104**	**138**	**173**
2·56	34·3	68·7	103	137	172
2·57	34·0	68·1	102	136	170
2·58	33·8	67·6	101	135	169
2·59	33·5	67·1	101	134	168
2·60	**33·3**	**66·5**	**99·8**	**133**	**166**
2·61	33·0	66·1	99·1	132	165
2·62	32·8	65·5	98·3	131	164
2·63	32·5	65·0	97·5	130	163
2·64	32·3	64·5	96·8	129	161
2·65	**32·0**	**64·1**	**96·1**	**128**	**160**
2·66	31·8	63·6	95·4	127	159
2·67	31·6	63·1	94·7	126	158
2·68	31·3	62·6	94·0	125	157
2·69	31·1	62·2	93·3	124	155
2·70	**30·8**	**61·7**	**92·5**	**123**	**154**
2·71	30·6	61·3	91·9	123	153
2·72	30·4	60·8	91·2	122	152
2·73	30·2	60·4	90·6	121	151
2·74	29·9	59·9	89·8	120	150
2·75	**29·7**	**59·5**	**89·3**	**119**	**149**
2·76	29·5	59·1	88·6	118	148
2·77	29·3	58·6	88·0	117	147
2·78	29·1	58·2	87·3	116	146
2·79	28·9	57·8	86·7	116	144
2·80	**28·7**	**57·4**	**86·0**	**115**	**143**
2·81	28·5	57·0	85·5	114	142
2·82	28·3	56·6	84·8	113	141
2·83	28·1	56·2	84·2	112	140
2·84	27·9	55·8	83·7	112	139
2·85	**27·7**	**55·4**	**83·1**	**111**	**138**
2·86	27·5	55·0	82·5	110	137
2·87	27·3	54·6	82·0	109	136
2·88	27·1	54·3	81·4	108	135
2·89	26·9	53·9	80·8	108	134
2·90	**26·7**	**53·4**	**80·1**	**107**	**133**
2·91	26·6	53·1	79·7	106	133
2·92	26·4	52·8	79·2	106	132
2·93	26·2	52·4	78·6	105	131
2·94	26·0	52·1	78·1	104	130
2·95	**25·9**	**51·7**	**77·6**	**103**	**129**
2·96	25·7	51·3	77·0	103	128
2·97	25·5	51·0	76·5	102	127
2·98	25·3	50·7	76·0	101	127
2·99	25·2	50·3	75·5	101	126

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
3·00	**25·0**	**50·0**	**75·0**	**100**	**125**
3·01	24·8	49·7	74·5	99·4	124
3·02	24·7	49·3	74·0	98·6	123
3·03	24·5	49·0	73·5	98·0	123
3·04	24·3	48·7	73·0	97·4	122
3·05	**24·2**	**48·4**	**72·6**	**96·8**	**121**
3·06	24·0	48·1	72·1	96·1	120
3·07	23·9	47·7	71·6	95·5	119
3·08	23·7	47·4	71·1	94·8	118
3·09	23·6	47·1	70·7	94·2	118
3·10	**23·4**	**46·8**	**70·2**	**93·6**	**117**
3·11	23·3	46·5	69·8	93·1	116
3·12	23·1	46·2	69·3	92·4	116
3·13	23·0	45·9	68·8	91·8	115
3·14	22·8	45·6	68·4	91·2	114
3·15	**22·7**	**45·4**	**68·0**	**90·7**	**113**
3·16	22·5	45·1	67·6	90·1	113
3·17	22·4	44·8	67·2	89·6	112
3·18	22·2	44·5	66 7	89·0	111
3·19	22·1	44·2	66·4	88·5	111
3·20	**22·0**	**43·9**	**65·9**	**87·8**	**110**
3·21	21·8	43·7	65·5	87·4	109
3·22	21·7	43·4	65·2	86·9	109
3·23	21·6	43·2	64·7	86·3	108
3·24	21·4	42·9	64·3	85·8	107
3·25	**21·3**	**42·6**	**63·9**	**85·2**	**107**
3·26	21·2	42·4	63·6	84·8	106
3·27	21·0	42·1	63·1	84·2	105
3·28	20·9	41·8	62·7	83·6	105
3·29	20·8	41·6	62·4	83·2	104
3·30	**20·7**	**41·3**	**62·0**	**82·6**	**103**
3·31	20·6	41·1	61·7	82·2	103
3·32	20·4	40·9	61·3	81·7	102
3·33	20·3	40·6	60·9	81·2	102
3·34	20·2	40·3	60·5	80·6	101
3·35	**20·1**	**40·1**	**60·2**	**80 2**	**100**
3·36	20·0	39·9	59·9	79·8	99·8
3·37	19·8	39·6	59·4	79·2	99·0
3·38	19·7	39·4	59·1	78·8	98·5
3·39	19·6	39·2	58·7	78·3	97·9
3·40	**19·5**	**38·9**	**58·4**	**77·9**	**97·3**
3·41	19·4	38·7	58·1	77·4	96·7
3·42	19·2	38·5	57·7	76·9	96·1
3·43	19·1	38·3	57·4	76·5	95·6
3·44	19·0	38·0	57·0	76·0	95·0
3·45	**18·9**	**37·8**	**56·7**	**75·6**	**94·5**
3·46	18·8	37·6	56·3	75·1	93·9
3·47	18·7	37·4	56·1	74·8	93·4
3·48	18·6	37·2	55·7	74·3	92·9
3·49	18·5	36·9	55·4	73 9	92·4

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
3·50	**18·4**	**36 7**	**55·1**	**73·5**	**91·8**
3·51	18·3	36·6	54·9	73·2	91·5
3·52	18·2	36·3	54·4	72·6	90·5
3·53	18·1	36·1	54·1	72·2	90·3
3·54	17·9	35·8	53·7	71·6	89·4
3·55	**17·8**	**35·7**	**53·5**	**71·4**	**89·3**
3·56	17·7	35·5	53·3	71·0	88·7
3·57	17·7	35·3	53·0	70·6	88·3
3·58	17·6	35·1	52·7	70·2	87·8
3·59	17·5	34·9	52·4	69·9	87·4
3·60	**17·4**	**34·7**	**52·1**	**69·4**	**86·8**
3·61	17·3	34·5	51·8	69·1	86·4
3·62	17·2	34·3	51·5	68·7	85·8
3·63	17·1	34·1	51·2	68·3	85 4
3·64	17·0	34·0	51·0	67·9	84·9
3·65	**16·9**	**33·8**	**50·7**	**67·6**	**84·5**
3·66	16·8	33·6	50·4	67·2	84·0
3·67	16·7	33·4	50·1	66·8	83·5
3·68	16·6	33·2	49·8	66·4	83·1
3·69	16·5	33·0	49·6	66·1	82·6
3·70	**16·4**	**32·9**	**49·3**	**65·7**	**82·2**
3·71	16·4	32·7	49·0	65·4	81·8
3·72	16·3	32·5	48·8	65·1	81·3
3·73	16·2	32·4	48·5	64·8	80·9
3·74	16·1	32 2	48·3	64·6	80·4
3·75	**16·0**	**32·0**	**48·0**	**64·0**	**80·0**
3·76	15·9	31·8	47·8	63·7	79·6
3·77	15·8	31·7	47·5	63·3	79·1
3·78	15·7	31·5	47·2	63·0	78·7
3·79	15·7	31·4	47·0	62·7	78·4
3·80	**15·6**	**31·2**	**46·7**	**62·3**	**77·9**
3·81	15·5	31·0	46·5	62·0	77·5
3·82	15·4	30·8	46·3	61·7	77·1
3·83	15·3	30·7	46·0	61·4	76·7
3·84	15·3	30·6	45·8	61·1	76·4
3·85	**15·2**	**30·4**	**45·5**	**60·7**	**75·9**
3·86	15·1	30·2	45·3	60·4	75·5
3·87	15·0	30·0	44·9	59·9	74·9
3·88	14·9	29·9	44·8	59·8	74·7
3·89	14·9	29·8	44·6	59 6	74·4
3·90	**14·8**	**29·6**	**44·4**	**59·2**	**74·0**
3·91	14·7	29·4	44·2	58·9	73·6
3·92	14·6	29 3	43·9	58·6	73 2
3·93	14·6	29·1	43·7	58·3	72·8
3·94	14·5	29·0	43·5	58·0	72 5
3·95	**14·4**	**28·8**	**43·3**	**57·7**	**72·1**
3·96	14·3	28·7	43·0	57·0	71·3
3·97	14·3	28·6	42·8	57·1	71·2
3·98	14·2	28·4	42·6	56·8	71 0
3·99	14·1	28·3	42·4	56·5	70·6

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,\text{kg}}{t^2\,\text{mm}^2}$ für Belastungen Pkg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
4·00	**14·1**	**28·1**	**42·2**	**56·2**	**70·3**
4·01	14·0	28·0	42·0	56·0	69·9
4·02	13·9	27·8	41·8	55·7	69·6
4·03	13·9	27·7	41·6	55·4	69·3
4·04	13·8	27·6	41·4	55·1	68·9
4·05	**13·7**	**27·4**	**41·2**	**54·9**	**68·6**
4·06	13·6	27·3	40·9	54·6	68·2
4·07	13·6	27·2	40·8	54·4	68·0
4·08	13·5	27·1	40·6	54·1	67·7
4·09	13·5	26·9	40·4	53·8	67·3
4·10	**13·4**	**26·8**	**40·1**	**53·5**	**66·9**
4·11	13·3	26·6	40·0	53·3	66·6
4·12	13·3	26·5	39·8	53·0	66·2
4·13	13·2	26·4	39·6	52·8	66·0
4·14	13·1	26·3	39·4	52·5	65·6
4·15	**13·0**	**26·1**	**39·1**	**52 2**	**65·3**
4·16	13·0	26·0	39·0	52·0	65·0
4·17	12·9	25·9	38·8	51·8	64·7
4·18	12·9	25·8	38·6	51·5	64·4
4·19	12·8	25·6	38·4	51·2	64·1
4·20	**12·8**	**25·5**	**38·2**	**51·0**	**63·8**
4·21	12·7	25·4	38·1	50·8	63·5
4·22	12·6	25·3	37·9	50·5	63·2
4·23	12·6	25·2	37·7	50·3	62·9
4·24	12·5	25·0	37·5	50·1	62·6
4·25	**12·5**	**24·9**	**37·4**	**49·8**	**62·3**
4·26	12·4	24·8	37·2	49·6	62·0
4·27	12·3	24·7	37·0	49·3	61·7
4·28	12·3	24·6	36·9	49·1	61·4
4·29	12·2	24·5	36·7	48·9	61·1
4·30	**12·2**	**24·3**	**36·5**	**48·7**	**60·8**
4·31	12·1	24·2	36·3	48·4	60·6
4·32	12·1	24 1	36·2	48·2	60·3
4·33	12·0	24·0	36·0	48·0	60·0
4·34	11·9	23·9	35·8	47·8	59·7
4·35	**11·9**	**23·8**	**35·7**	**47·6**	**59·5**
4·36	11·8	23·7	35·5	47·4	59·2
4·37	11·8	23·6	35·4	47·2	58·9
4·38	11·7	23·5	35·2	46·9	58·6
4·39	11·7	23·4	35·0	46·7	58·4
4·40	**11·6**	**23·2**	**34·9**	**46·5**	**58·1**
4·41	11·6	23·1	34·7	46·3	57·8
4·42	11·5	23·0	34·6	46·1	57·6
4·43	11·5	22·9	34·4	45·9	57·4
4·44	11·4	22·8	34·2	45·6	57·1
4·45	**11·4**	**22·7**	**34·1**	**45·4**	**56·8**
4·46	11·3	22·6	33·9	45·2	56·5
4·47	11·3	22·5	33·8	45·0	56·3
4·48	11·2	22·4	33·6	44·8	56·0
4·49	11·2	22·3	33·5	44·6	55·8

Eindrucktiefe t in mm	Kegeldruckhärte $H = 0{\cdot}225 \frac{P\,kg}{t^2\,mm^2}$ für Belastungen P kg von:				
	1000	2000	3000	4000	5000
4·50	**11·1**	**22·2**	**33·3**	**44·4**	**55·5**
4·51	11·1	22·1	33·2	44·2	55·3
4·52	11·0	22·0	33·0	44·0	55·0
4·53	11·0	21·9	32·8	43·8	54·8
4·54	10·9	21·8	32·7	43·6	54·5
4·55	**10·9**	**21·7**	**32·6**	**43·5**	**54·3**
4·56	10·8	21·6	32·5	43·3	54·1
4·57	10·9	21·6	32·4	43·1	53·9
4·58	10·7	21·5	32·2	42·9	53·6
4·59	10·7	21·4	32·1	42·7	53·4
4·60	**10·6**	**21·3**	**31·9**	**42·5**	**53·1**
4·61	10·6	21·2	31·8	42·4	52·9
4·62	10·5	21·1	31·6	42·2	52·7
4·63	10·5	21·0	31·5	42·0	52·5
4·64	10·5	20·9	31·4	41·8	52·3
4·65	**10·4**	**20·8**	**31·2**	**41·6**	**52·1**
4·66	10·4	20·7	31·1	41·4	51·8
4·67	10·3	20·6	31·0	41·3	51·6
4·68	10·3	20·5	30·8	41·1	51·4
4·69	10·2	20·5	30·7	40·9	51·2
4·70	**10·2**	**20·4**	**30·5**	**40·7**	**50·9**
4·71	10·1	20 3	30·4	40·6	50·7
4·72	10·1	20·2	30·3	40·4	50·5
4·73	10·1	20·1	30·2	40·2	50·3
4·74	10·0	20·0	30·0	40·0	50·1
4·75	**9·97**	**19 9**	**29·9**	**39·9**	**49·9**
4·76	9·93	19·9	29·8	39·7	49·7
4·77	9·89	19·8	29·7	39·6	49·4
4·78	9·85	19·7	29·5	39·4	49·2
4·79	9·81	19·6	29·4	39·2	49·0
4·80	**9·77**	**19·5**	**29·3**	**39·1**	**48·8**
4·81	9·73	19·5	29·2	38·9	48·6
4·82	9·69	19·4	29·1	38·7	48·4
4·83	9·64	19·3	28·9	38·5	48·2
4·84	9·61	19·2	28·8	38·4	48·0
4·85	**9·57**	**19·1**	**28·7**	**38·3**	**47·8**
4·86	9·53	19·1	28·6	38·1	47·6
4·87	9·48	19·0	28·5	37·9	47·4
4·88	9·45	18·9	28·3	37·8	47·2
4·89	9·41	18·8	28·2	37·6	47·1
4·90	**9·37**	**18·7**	**28·1**	**37·5**	**46·9**
4·91	9·34	18·7	28·0	37·3	46·7
4·92	9·30	18·6	27·9	37·2	46·5
4·93	9·26	18·5	27·8	37·0	46·3
4·94	9·22	18·4	27·7	36·9	46·1
4·95	**9·19**	**18·4**	**27·6**	**36·7**	**45·9**
4·96	9·15	18·3	27·4	36·6	45·7
4·97	9·11	18·2	27·3	36·4	45·6
4·98	9·07	18·1	27·2	36·3	45·4
4·99	9·04	18·1	27·1	36·1	45·2

89080443328

B89080443328A